

Spin

Spin to jedna z właściwości cząstek-cegiełek, z których zbudowana jest materia. Przy opisie cząstek takich jak elektrony, protony, neutrony, neutrina i fotony podaje się oprócz ich masy, ładunku elektrycznego wielkość zwaną spinem. Spin elektronu, protonu i neutronu wynosi $\frac{1}{2}$, spin fotonu jest równy 1, a np. spin cząstki alfa złożonej z dwóch protonów i dwóch neutronów – 0. **Spin jest wielkością kwantową**, co oznacza, że analogie do opisu i sensu klasycznego, choć bez nich trudno się obejść, mają ograniczone zastosowanie i mogą być mylące.

Jednostką, w jakiej podaje się spin cząstek, jest stała Plancka (\hbar)¹. Ma ona bowiem wymiar momentu pędu, czasami nazywanego krętem, czyli $\text{kg}\cdot\text{m}^2/\text{s}$ w jednostkach SI.

Wybór stałej Plancka jako jednostki nie jest przypadkowy. Po prostu z mechaniki kwantowej wynika, że elektrony mają spin połówkowy, czyli $\frac{1}{2}\hbar$.

Często robi się porównanie elektronu obdarzonego spinem do maleńkiego wirującego bączka. Taki wirujący bączek ma tzw. moment pędu względem osi, wokół której wiruje. Bączek może wirować szybciej lub wolniej, może się zatrzymać. Może wirować wokół dowolnej osi. Dzięki temu może mieć dowolną wartość momentu pędu, tak jak ciała o masie m mogą mieć dowolne pędy.



Cząstki kwantowe nie mają tej dowolności. „Wirująca” kwantowa cząstka nie może się zatrzymać, nie może stracić spinu. Ponadto fizycy mówią w skrócie, że spin np. elektronu może być skierowany ku górze (co oznaczamy strzałką \uparrow) lub do dołu (\downarrow).

Zupełnie też inaczej niż klasycznie „dodają” się spiny, gdy mamy do czynienia np. z dwoma cząstkami o spinie $\frac{1}{2}$. Ich wypadkowy spin może być tylko 0 lub 1.

Nieparzysta liczba cząstek o spinie połówkowym nie może dać w sumie spinu równego zero. Parzysta może. Na przykład cząstka α , która składa się z dwóch protonów i dwóch neutronów, czyli 4 cząstek o spinie połówkowym, ma spin równy zero.

Natura inaczej „obchodzi się” z cząstkami, które mają spiny połówkowe, a inaczej z tymi, które mają spiny całkowite lub zero. Te pierwsze nazywamy **fermionami** – na cześć fizyka włoskiego Enrico Fermiego, a te o spinach całkowitych **bozonami** – na cześć hinduskiego fizyka Satyendry Natha Bosego. Używając przenośni powiemy, że fermiony nie są towarzyskie, a bozony jak najbardziej. O co chodzi w tej przenośni?

Otóż dwa (lub więcej) identycznych fermionów nie może być w identycznym stanie. Muszą się czymś różnić. Jeśli już mają tę samą energię, to muszą się różnić, mówimy, rzutem spinu, co oznacza, że spin jednej cząstki wtedy musi być ustawiony do góry, a drugiej na dół. Ta dziwna własność fermionów nosi nazwę zakazu Pauliego. Na zdjęciu na następnej stronie widzimy fizyków: Wolfganga Pauliego i Nielsa Bohra obserwujących wirującego, precesującego (o tym dalej) bączka.

¹ $\hbar = \frac{h}{2\pi}$; $h = 6,626\,069\,57 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} = 4,135\,667\,516 \cdot 10^{-15} \text{ eV}\cdot\text{s}$.



Jeśli fermionów jest więcej, to muszą zajmować miejsce na „wyższej półce” energii. W atomie będą to kolejne tzw. poziomy energetyczne. Im atom ma więcej elektronów, tym zajmowane są kolejne wyższe poziomy elektronowe. Kolejne atomy mają coraz to inne własności chemiczne, różnią się między sobą.

Chemicy kwantowi zajmują się między innymi przewidywaniami własności chemicznych pierwiastków.

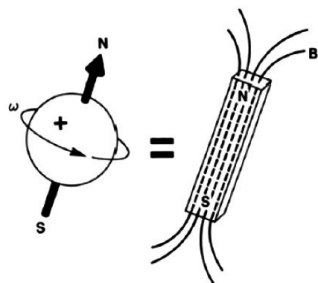
W przeciwieństwie do fermionów, „towarzyskie” identyczne bozony mogą

w dowolnej ilości znajdować się w jednakowym energetycznie stanie, co ma też zaskakujące własności. Mogą tworzyć tzw. kondensat.

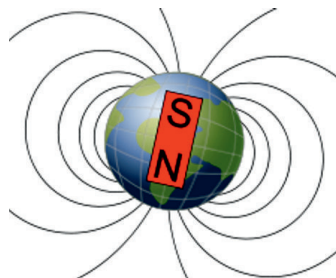
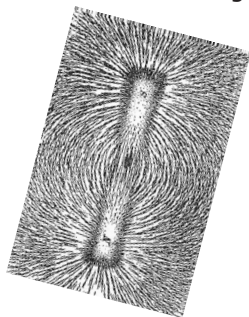
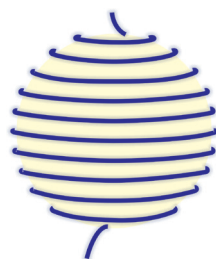
Analogia klasyczna

Jakie własności ma wirujący naładowany bączek klasyczny? Jest on równoważny prądowi elektrycznemu płynącemu przez solenoid nawinięty na kształt kulki.

Taki solenoid, a nawet pojedyncza pętka z przewodnika, przez którą płynie prąd elektryczny, wytwarza pole magnetyczne, które ma kształt zbliżony do pola magnetycznego trwałego magnesu.



Inaczej niż pole elektryczne, które jest wytwarzane przez ładunki elektryczne, pole magnetyczne jest wytwarzane przez magnesy, które mają zawsze dwa bieguny. O takich magnesach mówimy, że są dipolami (z gr. *dipolos* – dwa bieguny). Przykładem dipola jest solenoid z prądem. Okazuje się, że nasza kula ziemiska też jest olbrzymim dipolem. Poznajemy to po kształcie wytwarzanego przez Ziemię pola magnetycznego.



A zatem wirujący bączek klasyczny jest dipolem magnetycznym. A czy cząstki kwantowe posiadające spin też są dipolami magnetycznymi? Czy mają momenty magnetyczne? (bo tak się określa „ładunek magnetyczny”). Okazuje się, że zgodnie z naszymi oczekiwaniami mają momenty magnetyczne.

Elektron posiada moment magnetyczny, ma go też, oczywiście, naładowany dodatnio proton oraz jądra pierwiastków. Co może się wydać zdumiewające, neutralny neutron (o spinie $\frac{1}{2}$) też ma moment magnetyczny. Fizycy nawet wiedzą dlaczego. Neutron wprawdzie jako całość jest elektrycznie obojętny, ale jest zbudowany z naładowanych kwarków i to generuje moment magnetyczny.

Możecie łatwo zrobić sobie doświadczenie z małym bączkiem: rozkręcić go i puścić na stole czy podłodze. Można wtedy zaobserwować, że bączek oprócz wirowania wykonuje ruch zwany **precesją**. Oś obrotu bączka zatacza stożki, a sam bączek zatacza koła. Obliczenie trajektorii takiego bączka, ruchu osi, wprawdzie pozbawione tajemnic, jest jednak dość trudne i wymaga biegłości matematycznej.

Kwantowe bączki, momenty magnetyczne elektronów w atomach, w zewnętrznym polu magnetycznym też wykonują precesję. Pomiar takiej precesji pozwalają na identyfikację precesujących obiektów, i to właśnie jest podstawą zjawiska magnetycznego rezonansu jądrowego i jego zastosowań w fizyce i medycynie.



Z.G-M